

각성도 평가를 위한 생리신호와 반응시간과 주관적 평가와의 관계

고 한 우, 김 연 호
한국표준과학연구원

H. W. Ko, Y. H. Kim
Korea Research Institute of Standards and Science

ABSTRACT

본 논문은 각성도 평가시 주관적 평가와 생리신호인 GSR과 자극에 대한 반응시간(RT)와의 관계 및 각성상태에 따른 human performance에 대하여 연구하였다. KSS level이 높을수록 Nz와 RT가 증가 하였고, 특히 KSS level 5이하 에서는 RT 값이 0.8 초 미만으로 낮으며 KSS level 7 이상에서는 평균 1.6초 이상의 높은 값을 갖는다. 이는 KSS level 7 이상부터는 저각성상태로 인하여 작업에 대하여 human performance가 급격하게 저하함을 나타낸다. 5단계의 KSS level 에 대한 Nz를 구하였으며 KSS level 5에 대한 평균 Nz는 약 1.4이었다. 따라서 생리 신호를 기준으로한 각성상태의 효과적인 제어를 위해서는 Nz 값이 1.4이하의 범위 내에서 이루어져야 함을 알 수 있었다.

1. 서 론.

일상생활에서 단조로운 작업은 일의 효율을 떨어뜨리고 각성도의 저하로 인간 성능이 저하되어 안전사고의 발생율을 높인다. 특히 운전자에게 있어서 졸음은 치명적인 결과를 초래하고 있으므로 이를 막기 위하여 각국에서 많은 연구가 진행 중이다[1]. 운전자의 각성도를 객관적으로 측정하기 위한 여러 방법이 있으나 실용화를 위하여는 측정시 가능한 구속력이 적고 간편해야 한다. 구체적으로 각성도 측정 방법에는 Stanford 졸림측도나 KSS측도(Karolinska Sleepiness Scale)를 이용한 주관적 방법과 생리신호나 행위신호를 이용한 객관적 방법이 있다[3-6]. 생리신호의 종류에는 뇌파, 심전도, 근전도, 안전도 등이 있으며 각성 및 심리적 상태에 민감하고 빠르게 반응하는 반면에 구속성이 있고 개인간의 차이가 있는 단점을 가지고 있다. 행위신호는 눈깜박임, 하품, 등으로 구속 없이 측정이 가능하지만 각성변화에 따른 정도와 반응이 느린 문제점이 있다[2-9].

저자들은 지금까지의 연구를 통하여 피부전기활동(Electrodermal Activity:EDA)을 이용한 무구속적이고 간편한 시스템을 구성하였으며 피부임피던스 변화(Skin Impedance Change: SIC)신호의 교류성분에 해당하는 피부임피던스 반사(Skin Impedance Response: SIR)와 전체적인 피부임피던스 변화를 나타내는 피부임피던스 수준(Skin Impedance Level: SIL)을 측정하여 정량적인 각성단계 평가지표를 발표하였다.[3-6].

각성저하로 인하여 주의력이 저하 되더라도 인간은 어느정도 까지는 정상적인

작업을 할 수 있다. 예를 들어 운전자가 운전중에 피곤하고 졸음이 온다 할 지라도 어느 한계까지는 계속하여 운전작업을 유지할수 있다. 그러나 조금더 깊은 저각성상태로 들어가게 되면 Human Performance가 낮아지게 되고 결국엔 주의력 저하로 인한 사고를 유발시키게 된다. 즉, 각성저하로인한 Human performance 유지의 한계점이 있음을 말한다.

따라서 효과적인 각성제어를 위해서는 이 한계점이 중요한 요소로 작용하므로 본 논문에서는 생리신호와 주관적측정법인 KSS 측도 및 작업반응시간을 측정하여 각성상태에 따른 이들 세 측정요소간의 상관관계를 분석하였다.

2. 각성도 측정 시스템구성 및 분석방법

본 연구에서는 교류 통전법에 의한 피부임피던스 변화를 측정하여 각성도를 평가하였으며, 그림 1은 측정시스템의 구성을 나타낸다[3-5].

SIC신호는 $10\mu A$, 30Hz의 정전류를 통전하는 2극법을 이용하여 피검자의 손바닥으로부터 은전극을 사용, 검출하였다. 검출된 SIC 신호는 증폭 및 신호처리되어 피부 임피던스 수준을 반영하는 느리게 변하는 신호인 SIL과 자율 신경계에 지배되어 빠르게 변하는 SIR 신호로 분리하였으며, SIR 신호를 구형파로 정형화시킨 신호로부터 SIR 발현 간격(Inter SIR Interval: IRI)을 측정할 수 있도록 하였다.

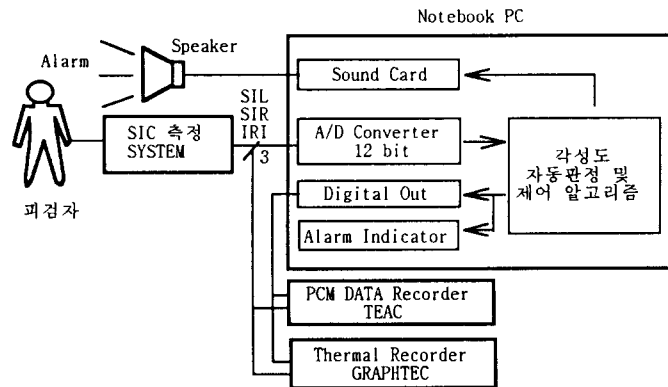


그림 1. 각성도 측정 및 제어 system block 선도.

표 1. SIR 간격 및 SIL 지표에 따른 각성도 평가 및 제어 기준.

IRI(sec) \ Nz	Nz		
	$1.2 \leq Nz < 1.5$	$1.5 \leq Nz < 2.0$	$2.0 \leq Nz$
$IRI < 60$	Small	Small	Medium
$60 \leq IRI < 90$	Small	Medium	Big
$90 \leq IRI$	Medium	Big	Big

피검자의 임피던스수준 SIL은 피검자의 피부 상태 (건조 또는 습윤)에 따라 큰 차이가 있었으므로 개인간의 차이를 없애고 SIL 평가지표의 일반화를 위하여 피검자에게 전극을 부착 시킨 후 5분간의 안정화 시간을 둔 후 3분간의 SIL 값을 측정하여 평균한 값을 기준 임피던스(basal Impedance:BI)로 하고, 이후의 측정값을 BI로 정규화 시

켜서 SIL지표 $Nz(Nz=SIL/BI)$ 로 하였다. 30인의 피검자(23세-43세)에 대하여 뇌파와 SIC를 동시에 측정하면서 수면실험을 수행한결과 각성수준 변화에 따른 SIL 지표와 SIR 간격의 상관관계 분석을 통하여 각성수준의 변화를 3단계로 평가할 수 있음을 확인하였으나 안전사고 방지 등을 위한 각성도 제어를 위한 기준으로는 미흡하다[5]. 더욱이 안전을 위해서는 가능한 각성수준 저하의 초기상태를 검출하여 제어하여야 하므로 표 1과 같이 각성과 졸림 영역 사이를 세분화 하였다[3].

표 1은 실험 초기의 피검자의 각성수준이 정상적인 상태를 기준으로 한 것이며 Small은 졸림초기, Medium은 졸림, Big은 매우 졸린 상태를 나타낸다.[3-5].

3. 실험 및 결과 고찰

3.1 실험 방법.

7명의 피검자(남6,여1: 21-25세)를 대상으로 3번이상 반복 실험 하였고 실험의 진행은 각성상태, 졸림, 수면직전의 상태, 재각성 순 이며 실험 시간은 30분 내외로 하였다. 그림 2 는 각성상태에 따른 생리신호와 작업반응 시간측정을 위한 실험 시스템의 구성도이다. 실험전에 피검자에게 0부터 9까지의 숫자 중 자신이 원하는 두 숫자를 선택하도록 한 후 Notebook P.C로부터 발생된 8개의 random number를 monitor에 제시하여 피검자가 선택한 두 개의 수가 함께 발생하지 않을 경우 3초간 display를 하고 만약 피검자가 원하는 두 개의 숫자가 동시에 발생하게 되면 button을 누르기 전까지 계속하여 display되도록 하였다. 피검자는 monitor에 제시된 8개의 숫자중 자신이 선택한 두 숫자가 동시에 포함되어 있을 경우 가능한 신속히 누르도록 하였고 이때 숫자가 제시된 시간부터 button을 누를 때 까지의 시간을 반응시간(Reaction Time:RT)이라 하고, 측정된 반응시간과 Nz, IRI값을 Notebook P.C에 저장하도록 구성하였다. 주관적 평가는 저각성영역이 3단계(맑음, 졸림, 아주졸림)로 나누었던 Karolinska의 KSS level은 저각성영역에 관하여 자세히 평가할 수 없으므로 표 2의 KSS level처럼 5단계로 재 정의하여 실험기간중 이를 기준으로 평가하여 기록하였다.

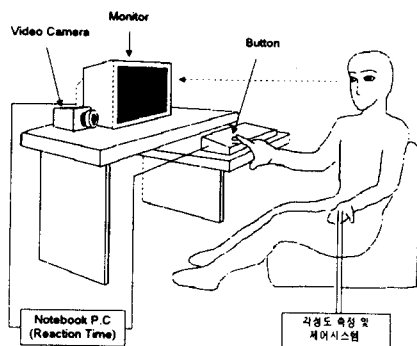


그림 2. 실험 구성도.

표 2. 주관적 각성상태에 대한 KSS level.

피검자 상태	KSS
정상상태 (정신이 맑다)	1
머리가 맑지도 졸리지도 않은 상태 (약간 피로하다)	3
졸린 상태	5
많이 피로하고 졸리며 하품이 빈번하고 눈꺼풀이 무거움	7
수면 직전의 상태로 졸림과 수면이 반복되는 상태	9

3.2 실험결과

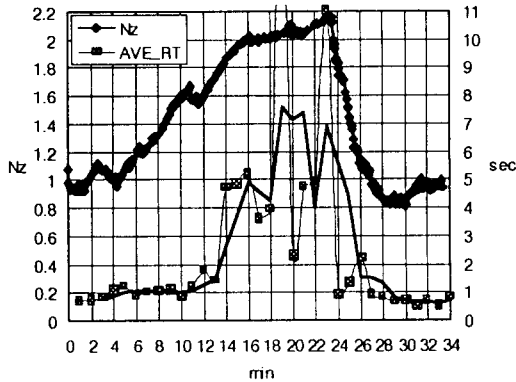


표 3. 그림 3의 시간에 대한 KSS와 Nz.

시 간	KSS level	평균 Nz	평균 RT
시작 - 4분	1	1	0.84
6분경	3	1.2	0.934
7분40초경	3 -> 5	1.29	
9분경	5	1.47	1.04
10분 30초경	5 -> 7	1.62	
11분 40초경	7	1.79	1.5
16분 - 19분30초경	9	2.02	6.26
20분-23분경	9(수면직전)	2.13	
25분경	5	1.41	
26분경	3 -> 1	1.14	
27분30초경 - 종료	1	0.9	

그림 3. 수면실험을 통한 Nz와 RT와의 관계.
(피검자:K)

그림 3은 피검자 K의 수면실험 결과를 측정된 SIL 지표인 Nz와 IRI, 반응시간 간의 상관관계를 나타내고 실선은 반응시간에 대한 3 point 이동평균을 나타낸다. 피검자 K는 실험초기에는 KSS level이 1인 상태였고 약 6분경에 KSS level이 3, 11분에서 12분경에 KSS level은 7, 16분에서 19분경까지는 KSS level이 9, 23분 이후에는 재각성영역이다. 그리고 실험 종료직전에는 KSS level이 1로 실험을 마쳤다. 전체적으로 저각성상태로 갈수록 Nz값과 반응시간이 함께 증가하고 재각성영역에서 부터는 Nz값과 반응시간이 감소한다. 또한 IRI의 값은 60초 미만이 대부분이었으며, 단순한 수면 실험에서와 같이 3분이상의 IRI는 출현하지 않았다. 이것은 피검자가 제시된 시각자극에 반응하기 위하여 주의력을 집중한 실험 결과로 볼 수 있다.

표 3은 각성상태 변화에 따른 반응시간과 Nz값의 변화를 비교한 것이다. 먼저 KSS 와 RT를 비교해보면 각성상태인 KSS level 1에 대하여는 0.84 sec, 3은 0.934 sec, KSS 5는 1.04 sec, KSS 7은 1.5 sec, KSS 9는 반응시간이 6.26 sec이었으며 KSS level이 증가 할수록 반응시간과 반응시간간의 차가 급격히 증가함을 알 수 있다.

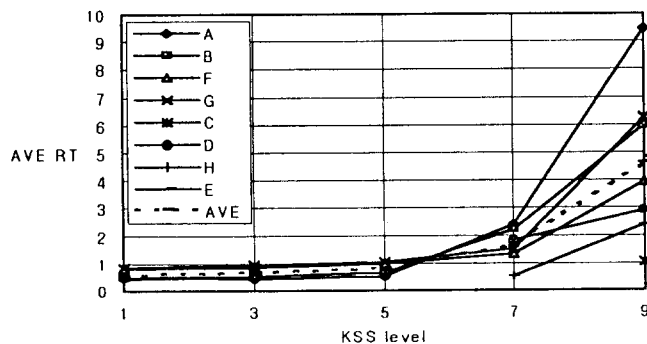


그림 4. KSS level에 대한 RT의 변화.

그림 4는 7인의 수면실험 결과를 각성상태 변화에 따른 KSS level과 반응시간의 관계로 나타낸 것으로 그림 3의 실험 결과와 마찬가지로 전체적으로 KSS level이

증가 할수록 반응시간과 반응시간과의 차가 급격히 증가 하고 있다. 특히 KSS level 5 이하의 상태는 평균 반응시간이 0.8sec 이하로 낮은 값을 갖고 그 이상인 KSS 7에서는 평균 반응시간이 1.6의 높은 값을 갖는다. 자동차를 운전할 경우 운전 조작시간이 1.6초 라면 상당히 위험한 수준이므로 이전에 경고를 주어야한다. level 9에서는 반응시간이 큰 폭으로 증가 하는데 이것은 피검자가 수면 직전 상태로 일시적 수면상태로 들어갔기 때문이다.

이 실험의 결과로 KSS level 5이하의 상태는 임의의 상황에 대하여 비교적 빨리 반응 할 수 있고 의지적으로 사물을 제어할수 있으나 KSS level 7이상의 상태에서는 임의의 상황에 대한 반응 시간이 급격히 증가하게 된다. 이는 각성의 저하로인한 주의력의 감소로 human performance가 낮아짐을 의미한다.

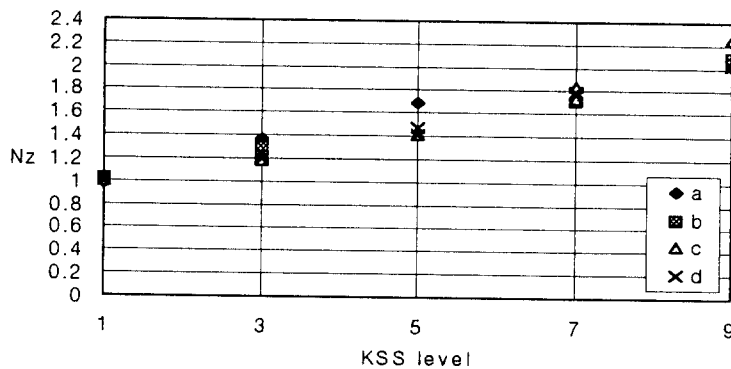


그림 5. KSS level에대한 Nz값의 분포도.

그림 5는 KSS level과 Nz를 비교하기 위하여 초기 KSS level 1인 상태에서 시작한 4인의 실험결과로서 각각의 KSS level 에대한 Nz의 변화를 나타낸 것이다. KSS level 별로 Nz값을 평균 하면 KSS 1은 1, 3은 1.23, 5는 1.44, 7은 1.78, 9는 2.09의 Nz를 갖는다. 이는 지금까지의 실험결과를 기준으로 설정한 위의 표 1의 각성도 평가 및 제어 기준의 각성단계 경계값(Nz :1.2, 2.0)과 일치하고 있으며 이미 발표된바 있는 초기 KSS level에 대한 보상상수와 거의 일치 한다[7]. 따라서 위의 실험 결과와 비교하여 보면 생리 신호를 이용하여 각성도를 제어 하기 위해서는 그림 4의 결과로부터 KSS level이 5 이하인 값 즉, Nz값이 약 1.4이하인 영역에서 경고음 이외에 각성 효과를 가져올 수 있는 요소로 자극시켜 급격히 저각성단계로 빠져드는 것을 조기에 방지하도록 하여야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 각성도평가를 위한 방법으로 KSS 측도와 시각자극에 대한 반응 시간과 이미개발된 피부 임피던스 변화를 이용한 각성도 측정 시스템을 이용하여 각성도변화 즉, 주의력 변화에 따른 세 변수간의 상호간의 상관관계와 사람의 human performance에 관하여 연구하였다. KSS level이 증가할수록 Nz와 반응시간이 함께 증가하였으며 반응시간은 KSS level 5이하의 상태는 0.8초이하의 빠른 반응시간을 갖는데 비하여 KSS level 7이상에서는 평균 1.6초 이상의 느린 반응시간을 나타내었다. 특히 운전자가 고속주행시 1.6초는 빠르게 변화하는 주위의 상황과 돌발상황에 대해 적절

한 대처를 할 수 없는 긴 시간이므로 KSS level 7이전에 각성상태를 제어하여야 한다. 그리고 KSS level에 대한 Nz값은 초기 KSS level이 1인 경우의 데이터를 기준으로 KSS level 1, 3, 5, 7, 9에 대하여 각각 1.23, 1.44, 1.78, 2.09의 Nz값을 가졌다. 따라서 효과적인 각성도제어를 하기 위해서는 약1.4이하의 Nz값을 갖는 범위 내에서 자극을 주어 각성의 저하로 인한 급격한 반응저하를 막도록 하여야함을 알 수 있었다.

현재 졸음운전 방지에 대한 연구로 생리신호를 이용한 방법을 많이 사용하고 있는데 그 중 눈 깜박임을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서 Nz와 반응시간과 눈깜박임의 상관관계에 대한 연구도 수행중에 있으며 그결과도 추후 발표할 예정이다.

참고문헌

1. 이상국, "운전자 감시 제어와 교통안전도 향상 연구동향", 제어.자동화.시스템공학 학회지, vol. 2-1, pp. 37-44, 1996.
2. Y. Yamamoto, T. Yamamoto, "The characteristics of galvanic skin reflex in low awake level and their application to measurement of sleep", T. IEE Japan, vol. 108-c-7, pp. 457-463, 1988.
3. 고한우, 이완규, 김연호, "피부 전기활동을 이용한 휴대형 각성도 측정 및 제어 시스템", 센서학회지, vol. 5-3, pp. 55-64, 1996.
4. 고한우, 이완규, 김창호, "졸음운전 방지를 위한 각성도 측정 및 분석 시스템(I) - 생리신호측정에 의한 측정 및 분석-", 자동차공학회 추계학술대회, vol. (I), pp. 474-480, 1995.
5. 고한우, 이완규, "피부 임피던스 변화를 이용한 각성도 측정 시스템", 센서학회지, vol. 4-3, pp. 30-36, 1995.
6. 고한우, 이완규, 이건기, "피부전기 활동 변화에 의한 각성도의 측정(I)", 대한 의용생체 공학회 춘계 학술대회, vol. 17, no. 1, pp. 195-199, 1995.
7. 고한우, 김연호, 이건기, "각성도 평가기준 보상법에 대한 연구", 대한 의용생체 공학회 추계 학술대회, vol. 18, no. 2, pp. 86-89, 1996.
8. T. Funai, Y. Yamamoto, "Relationship between impedance parameters and other evaluating parameters of electrodermal activity", Technical Report of IEICE, MBE94-48, pp.69-76, 1994.
9. Nimi, y, Watanabe, T. and Hori, T., "Skin potential activities as a function of stages of sleep", J. Physiol. Soc. Japan, 30, 231-244, 1968.